

ANALISA KEHILANGAN ENERGI PADA FIRE TUBE BOILER KAPASITAS 10 TON

Aditio Primayudi Aji Nugroho

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

Email: adityaprimayudi90@gmail.com

Abstrak -- Tujuan dari penulisan ini adalah menghitung kinerja boiler dengan mengetahui kerugian energi pada saat produksi steam. Analisa teknis pada boiler sangat diperlukan, sebagai upaya peningkatan efisiensi dan mengetahui banyaknya energi yang terbuang sebagai kerugian. Faktor-faktor penyebab kehilangan panas/heat loss terbesar pada boiler antara lain : "kehilangan panas akibat gas buang kering, kandungan steam dalam gas buang, kandungan air dalam bahan bakar, kandungan air dalam suplai udara dan lain-lain". Kehilangan panas/heat loss atau juga bisa disebut kehilangan energi merupakan salah satu faktor penting yang sangat berpengaruh dalam mengidentifikasi efisiensi pada boiler. Untuk itu dilakukan studi analisa dengan perhitungan kehilangan panas dengan tujuan untuk mengetahui besarnya penurunan performance dan penyebab dari penurunan performance. Berdasarkan data dan analisa metode direct diketahui penurunan sebesar 21% pada kondisi normal (operasi) 79% dan dari hasil perhitungan kehilangan panas indirect sebesar 16.68% efisiensi boiler sebesar 83.32% maka dari itu adanya kehilangan panas, perlu adanya perbaikan dalam control pengaturan bahan bakar dan udara yang masuk secara optimum dengan cara menggunakan Oxygen Trim Control yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi oksigen pada cerobong dan secara otomatis mengatur oksigen pada udara yang masuk burner sehingga dihasilkan pembakaran dengan efisiensi yang optimal dan dengan menggunakan economizer pada pemanasan awal suhu air umpan dapat menaikkan efisiensi boiler.

Kata Kunci : efisiensi, kehilangan panas, fire tube boiler

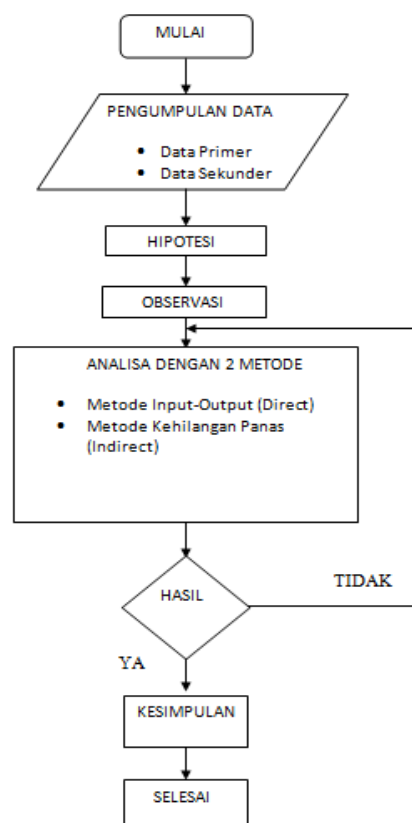
1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri semakin semakin berkembang dan membuat sektor industri menjadi perlu mengkaji ulang kinerja mesin untuk menghindari terjadinya pemborosan energi. Boiler adalah salah satu peralatan di bidang industri dimana hasil dari boiler yang berupa steam/uap yang akan di distribusikan ke user. Analisa teknis pada boiler sangat diperlukan, sebagai salah satu upaya peningkatan efisiensi untuk menghindari pemborosan didalam penggunaan bahan bakar serta menekan biaya operasional. Kehilangan energi merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh untuk mengidentifikasi efisiensi pada boiler.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi kehilangan energi pada *Fire Tube Boiler* kapasitas 10 Ton untuk dapat mengefisiensi kinerja boiler tersebut. Metode yang dipakai adalah dengan perhitungan manual dengan rumus-rumus yang sudah tersedia, dengan membaca grafik dan tabel-tabel yang ada di buku-buku. Metode yang dipakai adalah metode observasi dan literatur, terjun langsung ke lokasi yang akan pengamatan, diskusi dengan pengguna boiler dan studi pustaka untuk menambah referensi. Data kemudian diolah dan dianalisa

2.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. TEORI PADA BOILER

3.1 Perpindahan Panas Secara Pancaran (Radiasi)

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas dari benda satu ke benda lainnya, melalui gelombang elektromagnetik tanpa ada atau tidak adanya media untuk menghantarkan pancaran panas tersebut. Molekul-molekul api hasil dari pembakaran bahan bakar dan udara menyebabkan gangguan terhadap keseimbangan elektromagnetik terhadap media yang disebut aether. Sebagian panas yang timbul dari hasil pembakaran tersebut dialirkan aether yang kemudian diteruskan kepada bidang yang akan dipanasi, yaitu dinding ataupun pipa ketel.

3.2 Perpindahan Panas Secara Aliran (Konveksi)

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida atau gas. Molekul-molekul fluida tersebut dalam pergerakannya membawa sejumlah panas masing-masing q joule. Pada saat molekul fluida menyentuh dinding atau pipa ketel maka panasnya dibagikan sebagian kepada dinding atau pipa ketel, sedangkan sebagiannya lagi dibawa molekul pergi.

Gerakan-gerakan molekul yang melayang-layang tersebut disebabkan dari perbedaan temperature di dalam fluida itu sendiri. Dalam gerakannya, molekul-molekul api tersebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding bidang yang di panasi.

3.3 Perpindahan Panas Secara Rambatan (Konduksi)

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas dari suatu benda padat ke benda padat lainnya karena adanya persinggungan (kontak fisik) tanpa terjadinya perpindahan panas molekul-molekul dari benda padat itu sendiri.

Didalam dinding ketel, panas dirambatkan oleh molekul-molekul dinding ketel bagian dalam yang berbatasan dengan api menuju ke molekul-molekul dinding ketel bagian luarnya yang berbatasan dengan air. Perambatan tersebut menempuh jarak terpendek (Djokosetyardjo, 1993).

3.4 Mekanisme Sistem Penyuplai Panas Pada Ketel Uap

a. Mekanisme penyuplaian udara

Mekanisme Sistem penyuplaian udara ke boiler selain dari aliran Primary air fan (PAF) dan Secondary Air Fan (SAF), udara pembakaran juga dibantu oleh Fluiditing Air Blower, jumlah flow

udara dalam proses pembakaran (100%BMCR) diruang bakar (Furnace) membutuhkan 522 t/h udara panas.

Aliran udara yang berputar (turbulent), tujuannya untuk melindungi dinding cyclone pada bagian expansion bellow pada dinding cyclone maka dibantu Fluiditing Air Blower. Batubara yang belum habis terbakar yang menempel pada bagian expansion bellow dapat merusak dan menghambat sirkulasi pada cyclone. Selain untuk melindungi expansion bellow pada dinding cyclone udara yang berasal dari Fluiditing Air Blower ini juga digunakan untuk mendorong batubara yang belum habis terbakar masuk kedalam Furnace pada Sealpot yang letaknya dibawah cyclone. Sealpot digunakan sebagai penghambat laju aliran batubara yang belum habis terbakar sebelum masuk ke furnace.

Dua sumber aliran udara utama yaitu udara primary dan udara secondary dibantu oleh udara dari Fluiditing Air Blower serta udara dari limestone. Udara primary berasal dari udara luar yang masuk kedalam kipas (fan) kemudian udara di hembuskan menuju turbular air heater terjadi pertukaran panas antara udara primary dengan flue gas.

b. Pengaturan penyuplaian udara

Pengaturan tekanan udara bebas dikelilingi kita sebut dengan tekanan atmosfer, besar tekanan atmosfer adalah 1,023 bar atau 14,7 Psig dan alat ukurnya dinamakan barometer. Titik nol barometer diukur dalam ruangan hampa udara (Hampa mutlak/non absolute). Sedangkan alat ukur yang digunakan untuk mengukur tekanan selain tekanan udara bebas adalah manometer. Tekanan dapat dibedakan menjadi 3 macam yaitu:

1. Tekanan terukur
2. Tekanan Absolute
3. Tekanan Vakum

Pada pengaturan tekanan yang sering di jumpai pada pembangkit termal adalah menggunakan metode, sebagai berikut :

1. Kolom Zat Cair
2. Perubahan Element Elastis

c. Pengaturan temperatur udara

Pengaturan temperatur udara dapat dimonitor dari pengukuran temperature pada boiler overview. Pada pembangkit termal terdapat dua buah alat ukurnya yaitu Thermokopel dan Resistance Temperatur Detector (RTD). Thermokopel terdiri dari dua logam berlainan jenis yang digabungkan dari sumber panas pada ujung yang lain akan menimbulkan tegangan listrik berupa mili volt dan pada Resistance Temperatur Detector (RTD) objek dan pembacaan instrumentasinya berada ditempat yang berbeda atau dapat dikatakan pembacaan jarak jauh dengan menggunakan

kawat penghubung yang mempunyai tahanan meskipun kecil (0,008-0,012/meter).

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Kinerja pada boiler mempunyai parameter seperti rasio dan efisiensi yang berkurang terhadap waktu. Hal tersebut terjadi karena buruknya pada proses pembakaran, dan buruknya kinerja boiler dipengaruhi oleh buruknya kualitas bahan bakar dan air. Neraca panas dapat membantu mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari.

Penelitian analisa efisiensi fire tube boiler (Boiler Pipa Api) dilakukan pada boiler yang ada di perusahaan minuman berkarbonasi. Hasil dari analisa di ambil pada kondisi saat ini, dengan menggunakan metode input/output (direct) dan metode kehilangan panas (indirect).

4.1 Spesifikasi Fire Tube Boiler

Jenis Boiler : Fire Tube Boiler (pipa api)
 Manufaktur : BOSCH type UL-S 10000
 Bahan Bakar : Natural Gas
 Kapasitas Boiler : 10 ton
 Tekanan Maksimal : 30 bar
 Temperatur Maksimal : 235 °C

4.2 Data Perhitungan Analisa

a. Metode input-output (direct)

Mencari efisiensi boiler dengan menggunakan metode input-output (direct) dengan data dibawah ini:

- Jenis Bahan Bakar Gas Alam
- Jumlah Steam (kering) yang dihasilkan 3 ton/h
- Tekanan Steam (gauge)/suhu 6,3 bar/120 C
- Jumlah Pemakaian Gas 170 Nm³/h
- Suhu air umpan 65° C
- GCV Gas 12000 Kcal/kg
- Entalpy Steam (hg) 2706,3 kJ/kg, (646,8 Kcal/kg)
- Entalpy air umpan 272 kJ/kg, (65 Kcal/kg)

Efisiensi Boiler =

$$\frac{\text{Jumlah Steam Kering} \times (h_g - h_f) \times 1000}{(\text{Jumlah pemakaian gas} \times 100) \times \text{GCV Gas} \times 1000} \times 100$$

$$= \frac{3 \times (646,8 - 65) \times 1000}{0,17 \times 12000 \times 1000} \times 100 = 85\%$$

b. Metode kehilangan panas (indirect)

Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangi bagian kehilangan panas dari 100% sebagai berikut:

Efisiensi boiler (n) = 100 – (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)

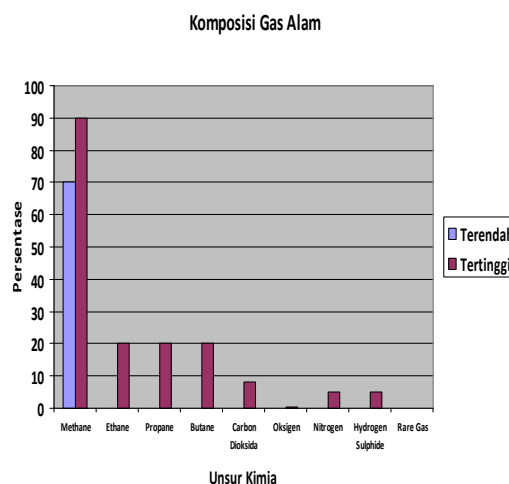
Dimana kehilangan yang terjadi dalam boiler adalah kehilangan panas yang di akibatkan oleh:

- Gas cerobong yang kering
- Penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar
- Penguapan kadar air dalam bahan bakar
- Adanya kadar air dalam udara pembakaran
- Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ fly ash
- Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ bottom ash
- Radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Tabel 1. Komposisi Gas Alam

Methane	CH ₄	70-90%
Ethane	C ₂ H ₆	0-20%
Propane	C ₃ H ₈	0-20%
Butane	C ₄ H ₈	0-20%
Carbon Dioksida	CO ₂	0-8%
Oksigen	O ₂	0-0,2%
Nitrogen	N ₂	0-5%
Hydrogen Sulphide	H ₂ S	0-5%
Rare Gas	A, He, Ne, Xe	Trace

4.3 Komposisi Gas Alam



Gambar 2. Komposisi gas alam

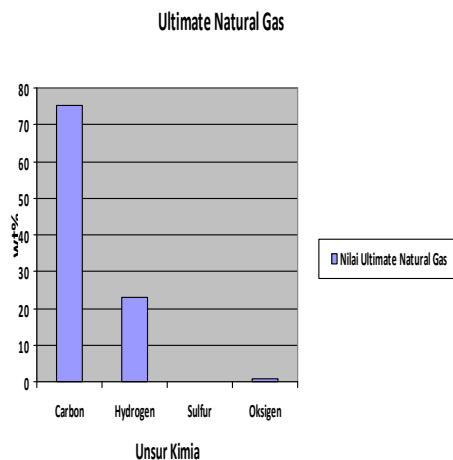
4.4 Pengolahan Data

Tabel 2. Data Metode *input-output* menentukan efisiensi

DATA ANALISA BOILER			
NO.	ITEM	UNIT	OPERASI 10 Ton
1	Steam flow	t/h	3
2	Steam Pressure	Bar	6,3
3	Steam Volume	m ³ /h	210
4	Natural gas	t/h	0,17
5	Steam Temperature	°C	120
6	Feed Water Temperature	°C	65
7	GCV Natural Gas	Kcal/kg	12000
8	Make Up Water Entalphy	Kcal/kg	65
9	Steam Entalphy	Kcal/kg	646,8

Tabel 3. Hasil Ultimate Natural Gas

NO.	ITEM	UNIT	Pembacaan
1	Carbon	wt%	75,07
2	Hydrogen	wt%	22,89
3	Sulfur	wt%	0
4	Oxygen	wt%	0,65



Gambar 3. Nilai ultimate natural gas

Tabel 4. Hasil Pengukuran *flue gas boiler*

1	Oxygen percentage	%	9,2%
2	CO ₂	%	6,1%
3	Gas Exhaust Temperature	°C	185%
4	Ambient Temperature	°C	33%
5	Air Humidity	kg/ kg Udara Kering	0,018 kg/kg

Tabel 5. Nilai Kalor

1	LHV	kcal/nm ³	12000
2	HHV	kcal/nm ³	8000

4.5 Analisa *Fire Tube Boiler* kapasitas 10 t/h

- Tahap 1:** Menghitung kebutuhan udara teoritis

$$= [(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4,32 \times S)] / 100$$

$$= [(11,43 \times 75,07) + \{34,5 \times (22,89 - \frac{0,65}{8})\} + (4,32 \times 0)] / 100$$

$$= \frac{85,85 + 95,91 + 0}{100}$$

$$= 8,80 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$
- Tahap 2:** Menghitung persen udara berlebih yang dipasok EA

$$= \frac{\text{Persen } O_2 \times 100}{21 - \text{persen } O_2}$$

$$= \frac{9,2 \times 100}{21 - 9,2} = 77,96 \%$$
- Tahap 3 :** Menghitung massa udara yang dipasok / kg bahan bakar (AAS)

$$= \{1 + EA / 100\} \times \text{Udara Teoritis}$$

$$= \left\{ \frac{1 + 77,96}{100} \right\} \times 8,80$$

$$= 0,7896 \times 8,80$$

$$= 6,94 \text{ kg udara / kg bahan bakar}$$
- Tahap 4:** Memperkirakan seluruh kehilangan panas

a. Persentase kehilangan panas karena gas kering cerobong

$$= \frac{M \{ 5,8 \times C_p (T_f - T_a) \} \times 100}{\text{GCV Bahan Bakar}}$$

m = mass of CO₂ + mass of SO₂ + mass of N₂ + mass of O₂

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,75 \times 4}{12} + \frac{4 \times 0}{32} + \frac{64 \times 8,8}{100} (0,092 \times 32) \\
 &= 2,75 + 0 + 6,776 (2,94) \\
 &= 12,46 \text{ kg/kg bahan bakar} \\
 &= \frac{12,46 \times 0,23 \times (185 - 33)}{12000} \times 100 = 3,63 \%
 \end{aligned}$$

b. Kehilangan panas karena penguapan kadar karena adanya H₂ bahan bakar

$$\begin{aligned}
 &= \frac{9 \times H_2 (584 - C_p (T_f - T_a)) \times 100}{\text{GCV Bahan bakar}} \\
 &= \frac{9 \times 23 (584 - 0,45(185 - 33)) \times 100}{12000} \\
 &= 12,1 \%
 \end{aligned}$$

c. Kehilangan panas karena kadar air dalam udara

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{AAS} \times \text{faktor kelembaban} \times C_p (T_f - T_a) \times 100}{\text{GCV bahan bakar}} \\
 &= \frac{6,94 \times 0,018 \times 0,45(185 - 33) \times 100}{12000} \\
 &= 0,063 \%
 \end{aligned}$$

d. Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Dari data pabrikan dengan nilai diperkirakan
= 2 %

Tahap 5: Menghitung efisiensi dan rasio penguapan *Boiler*

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Boiler (n)} &= 100 - (I + II + III + IV) \\
 &= 100 - (3,63 + 12,1 + 0,063 + 2) \\
 &= 100 - 17,79 \\
 &= 82,21 \%
 \end{aligned}$$

Rasio penguapan = Panas yang digunakan untuk pembangkit steam/Panas yang ditambahkan ke steam

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{GCV Bahan bakar} \times \text{efisiensi}}{\text{HHV-LHV}} \\
 &= \frac{12000 \times 0,8}{4000} = 2,4 \%
 \end{aligned}$$

4.6 Evaluasi Hasil Analisa dan Perhitungan

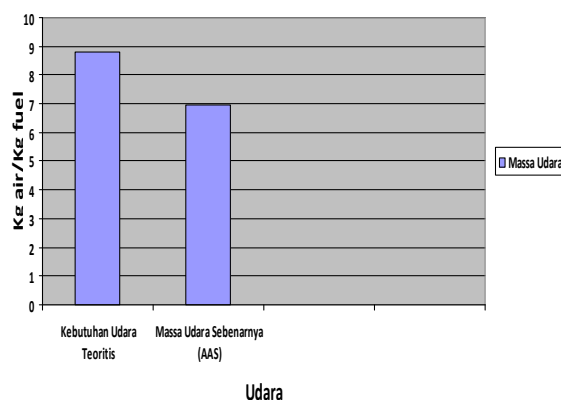
Tabel 6. Hasil Analisa Metode *input-output* (direct)

NO	DESKRIPSI	PEMBACAAN	SATUAN
1	Efisiensi Boiler (n)	85	%

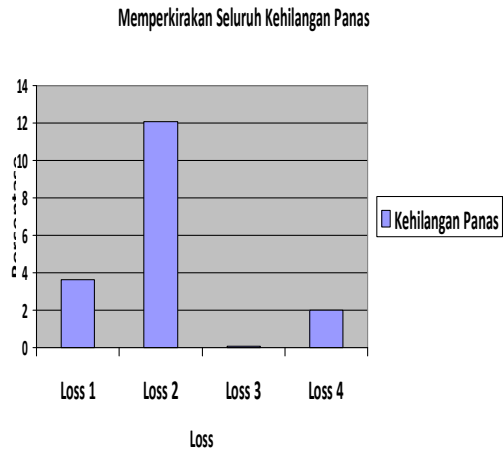
Tabel 7. Hasil Analisa Metode Kehilangan panas (indirect)

TAHAPAN	DESKRIPSI	SATUAN	LOAD 10 Ton
Tahap 1	Kebutuhan udara teoritis	Kg air/ kg fuel	8,80
Tahap 2	Persentase kelebihan udara yang dipasok (Excess Air)	%	77,96
Tahap 3	Massa udara sebenarnya yang dipasok / kg bahan bakar (AAS)	Kg air/kg fuel	6,94
Tahap 4	Memperkirakan seluruh kehilangan panas	%	17,793
- Loss 1	Persentase kehilangan panas karena gas kering cerobong	%	3,63
- Loss 2	Kehilangan panas karena penguapan kadar air karena adanya H ₂ dalam bahan bakar	%	12,1
- Loss 3	Kehilangan panas karena kadar air dalam udara	%	0,063
- Loss 4	Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung	%	2
Tahap 5	Efisiensi Boiler dan Rasio penguapan Boiler	%	82,21
Rasio	Rasio Penguapan Panas	%	2,4

Perbandingan Antara Kebutuhan Udara Dengan Massa Udara Yang Di Pasok



Gambar 4. Perbandingan kebutuhan udara dengan massa udara



Gambar 5. Kehilangan panas

a. Surface heat loss

Diketahui:

$$T_s = 120 \text{ C}$$

$$T_a = 33 \text{ C}$$

Ditanya: q (surface heat loss)

$$\begin{aligned} q &= 10 + \{(T_s - T_a) / 20\} \times (T_s - T_a) \times (4,2/3,6) \\ &= 10 + \{(120 - 33) / 20\} \times (120 - 33) \times (4,2/3,6) \\ &= 10 + (4,4 \times 101) \\ &= 1449,35 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

b. Exposed Area for Heat Loss

Diketahui:

$$\text{Diameter pipa (d)} = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang Pipa (L)} = 150 \text{ m}$$

Dicari A exposed area for heat loss

$$\begin{aligned} A &= 3,1 \times (d/1000) \times L \\ &= 3,1 \times (125/1000) \times 150 \\ &= 3,1 \times 0,125 \times 150 \\ &= 58,125 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa perhitungan-perhitungan yang telah dilakukan pada Ketel Uap (boiler) pipa api dapat disimpulkan sebagai berikut:

Bahwa analisa kinerja boiler dapat dimaksimalkan kinerjanya dan efisiensinya meningkat untuk mengurangi pemborosan bahan bakar dengan meningkatkan suhu air umpan menggunakan *economizer* (Sisa panas yang dikembalikan menjadi *feed water*).

6. SARAN

Langkah–langkah penghematan energy dapat ditekan dengan meningkatkan efisiensi peralatan. Untuk meningkatkan efisiensi dari boiler dapat dilakukan adalah dengan cara mengurangi faktor – faktor kehilangan panas (Heat Loss). Seperti penurunan 5 persen udara berlebih meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1 persen (atau 1 persen penurunan residu oksigen dalam gas cerobong meningkatkan efisiensi boiler sebesar 1 persen).

Juga menurunkan suhu gas buang sebesar 22°C meningkatkan efisiensi boiler 1 persen dan menaikkan 6°C suhu air umpan karena penggunaan *economizer*/ pemanfaatan kembali kondensat, terdapat penghematan bahan bakar boiler 1 persen (energyefficiencyasia)

DAFTAR PUSTAKA

1. Djokosetyardjo.M.J, 2006, "Ketel Uap" Cetakan ke-6, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
2. Harijono Djojodihardjo, 1987, "Termodinamika Teknik" PT Gramedia, Jakarta.
3. Karassik, I.J. (1976). *Pump Handbook*. Mc.Graw-Hill Book Company. New York.
4. Riyaz Papar, P.E., CEM dan Greg Harrell. Ph.D., P.E., 2013 "Industrial Steam System Optimization".
5. Pedoman Efisiensi Energi untuk industry di Asia.
6. UNEP, 2006, "Boiler & Pemanas Fluida Thermis" United Nation Environment Program.
7. Eflita Yohana, 2009. "Perhitungan Efisiensi dan konversi dari bahan Bakar Solar ke Gas pada boiler Ebara HKL 1800 KA". Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
8. Perhitungan Efisiensi Boiler (ASME PTC 4.1) Institut Teknologi Sepuluh November.
9. Henry Yose, 2010. "Analisa Efisiensi CFB Boiler Terhadap Kehilangan Panas pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap". Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.